



Perancangan *Bandpass Filter* Pita Sempit pada Frekuensi *L-Band* untuk Aplikasi *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

Budi Syihabuddin¹, Dwi Andi Nurmantris², Agus Dwi Prasetyo³

^{1,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

^{1,2,3}Jalan Telekomunikasi, Terusan Buah Batu, Bandung, 40257 INDONESIA

Email korespondensi: budisyihab@telkomuniversity.ac.id

Dikirim 28 April 2017, Direvisi 07 Mei 2017, Diterima 07 Mei 2017

Abstrak – Pada sistem *Synthetic Aperture Radar* (SAR), lebar pita menentukan resolusi yang diinginkan. Jika lebar pita sempit, maka resolusi yang didapatkan akan tinggi sehingga objek yang diamati akan lebih presisi. Untuk mendapatkan performa tersebut, dibutuhkan filter yang dapat menjaga lebar pita dari keluaran generator sinyal *Chirp*. Penelitian ini merancang filter dengan selektivitas tinggi pada frekuensi 1,27 GHz dengan lebar pita sebesar 10 MHz. Dengan karakteristik tersebut, perancangan filter dapat menggunakan resonator berbentuk kotak karena dapat menghasilkan lebar pita yang sempit. Dari hasil perancangan menggunakan duroid 5880 dengan permitivitas relative sebesar 2,2 didapatkan respon frekuensi pada 1,27 GHz dengan nilai S11 sebesar -36,25 dB dan nilai S21 sebesar -0,92 dB. Untuk lebar pita pada rentang frekuensi 1,265 – 1,275 GHz didapatkan nilai S11 dan S21 secara berurutan sebesar -14,37 dB dan -1,09 dB serta -14,43 dB dan -1,08 dB.

Kata kunci – *Band Pass Filter*, Filter Pita Sempit, Resonator Ring Kotak, Frekuensi L.

Abstract - In the *Synthetic Aperture Radar* (SAR) system, the bandwidth specifies the desired resolution. If the bandwidth is small, then the resolution obtained will be high so that the observed object will be more precise. To obtain such performance, a filter that can stabilize the bandwidth from *Chirp* Generator output is required. This study designs a filter with high selectivity at a 1.27 GHz frequency with a 10 MHz bandwidth. With these characteristics, a rectangular resonator filter design can be used because it can produce narrow bandwidth. The designed filter using Duroid 5880 with relative permittivity 2.2 obtains the frequency response at 1.27 GHz with value of S11 equal to -36.25 dB and S21 value equal to -0.92 dB. For bandwidth at the frequency range 1.265 - 1.275 GHz, it is obtained the values of S11 and S21 respectively -14.37 dB and -1.09 dB also -14.43 dB and -1.08 dB.

Keywords - Band Pass Filter, Narrow Band Filter, Square Ring Resonator, L-Band

I. PENDAHULUAN

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah teknologi yang dapat mendukung penginderaan jauh dengan menggunakan prinsip kerja dari gelombang elektromagnetika [1][2]. Perbedaan SAR dengan sistem penginderaan berbasis kamera, teknologi ini dapat bekerja pada segala cuaca dan tidak terbatas siang atau malam. Jika menggunakan kamera, ketika cuaca hujan atau berawan, maka kamera akan terhalang dengan awan sehingga objek yang akan diamati tidak maksimal. Begitu pula jika kondisi gelap atau pada malam hari, dibutuhkan kamera khusus yang dapat bekerja pada malam hari atau kondisi gelap.

Sistem SAR terdiri dari beberapa blok sistem diantaranya adalah pembangkit sinyal *Chirp* (*Chirp Generator*) yang berfungsi sebagai sinyal pemancar yang dikirimkan ke objek yang ingin diketahui. Semakin detail objek yang ingin diketahui atau diamati, maka resolusi yang harus dimiliki oleh sistem SAR harus semakin besar. Resolusi ini berhubungan terbalik dengan lebar pita sistem SAR yang dikembangkan [3]. Jika lebar pita semakin sempit, maka resolusi akan semakin besar. Seperti pada penelitian [1], [2] menggunakan lebar pita sebesar 10 MHz dengan wahana berupa pesawat tanpa awak dan satelit-mikro.

Untuk menjaga kestabilan lebar pita keluaran dari pembangkit sinyal Chirp pada sistem SAR, dibutuhkan filter gelombang mikro. Filter ini bekerja pada frekuensi L-Band dengan bandwidth sebesar 10 MHz sesuai dengan spesifikasi dari penelitian [1], [2]. Filter gelombang mikro dengan menggunakan saluran microstrip dipilih karena bentuk yang simpel dan lebih mudah untuk dioptimasi.

Pada penelitian ini menggunakan saluran microstrip dengan resonator berbentuk kotak. Resonator bentuk kotak dipilih karena berdasarkan penelitian [4] memiliki lebar pita frekuensi yang sempit. Karakteristik pita frekuensi yang sempit dari resonator berbentuk kotak diharapkan dapat menjadi filter dengan selectivitas tinggi pada frekuensi L. Di Indonesia sendiri, pada frekuensi L terdapat rentang frekuensi radio amatir antara 1260 – 1300 MHz [5]. Dengan rentang frekuensi tersebut, penelitian ini hanya menggunakan lebar pita sebesar 10 MHz karena diharapkan sistem SAR yang akan dirancang memiliki resolusi yang tinggi.

Beberapa penelitian lain seperti penelitian [6]–[9] juga menggunakan resonator berbentuk kotak untuk menghasilkan bandpass filter. Pada penelitian [6] menggunakan resonator berbentuk kotak dengan *loop* terbuka (*Square Open Loop Resonator*) pada frekuensi 2,45 GHz. Penelitian [7] juga menggunakan *loop* terbuka dengan tujuan untuk meminiatursasi dimensi filter dengan respon pita frekuensi yang sempit. Namun pada penelitian [8], [9] menggunakan sebuah resonator berbentuk kotak dengan *loop* tertutup untuk mendapatkan lebar pita frekuensi yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi sistem yang akan dirancang.

Dari metoda dan hasil penelitian [4], [6]–[9], pada penelitian ini dirancang sebuah *bandpass filter* untuk sistem SAR pada frekuensi tengah 1,27 GHz dengan lebar pita 10 MHz menggunakan sebuah resonator berbentuk kotak yang tertutup. Untuk mengoptimasi hasil rancangan digunakan prinsip kopling saluran gelombang mikro.

Penelitian ini terdiri dari 4 bagian yang diawali dengan pendahuluan pada bagian pertama. Bagian kedua berisi metode penelitian tentang saluran microstrip dan filter resonator berbentuk ring. Pada bagian ketiga terdiri dari hasil simulasi perhitungan dan desain hasil optimasi dan pada bagian keempat berisi kesimpulan dan saran.

II. METODE PENELITIAN

A. Saluran Mikrostrip

Saluran mikrostrip adalah jenis saluran yang populer digunakan karena mudah untuk diminiaturisasi serta mudah diintegrasikan dengan komponen gelombang mikro pasif ataupun aktif. Gambar 1 (a) adalah struktur dari saluran microstrip

dan (b) adalah medan listrik dan medan magnet pada saluran microstrip [10].

Untuk mendesain dimensi saluran mikrostrip, dapat menggunakan persamaan 1 – 7 [10]

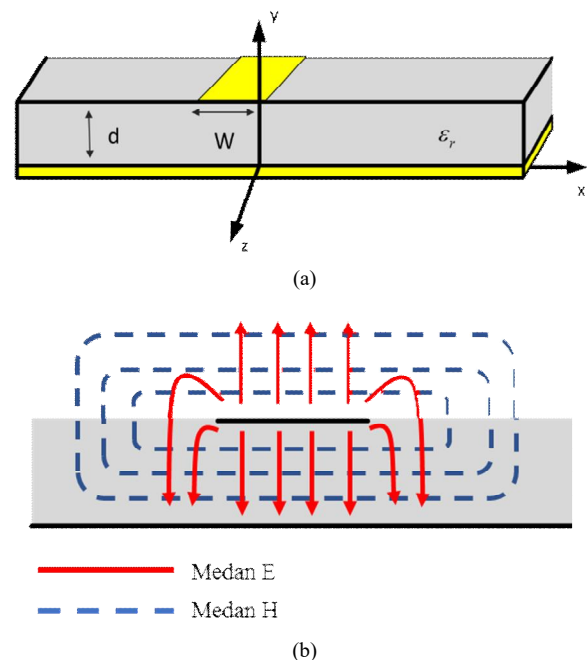
$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12d/W}} \quad (1)$$

Untuk $W/d \leq 1$ maka nilai Z_0 akan sebanding dengan persamaan 2.

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) \quad (2)$$

Sedangkan jika nilai $W/d \geq 1$ maka nilai Z_0 dapat dicari dengan persamaan 3

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} [W/d + 1,393 + 0,667 \ln(W/d + 1,444)]} \quad (3)$$



Gambar 1. Saluran Mikrostrip (A) Struktur (B) Medan Listrik Dan Medan Magnet Saluran Mikrostrip.

Untuk nilai impedansi dan konstanta dielektrik diketahui, maka nilai perbandingan $W/d \leq 2$ dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^A}{e^{2A-2}} \quad (4)$$

Sedangkan jika $W/d \geq 2$, menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{W}{d} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{B-1-\ln(2B-1)}{\frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\}} \right] \quad (5)$$

dengan nilai A dan B adalah sebagai berikut:

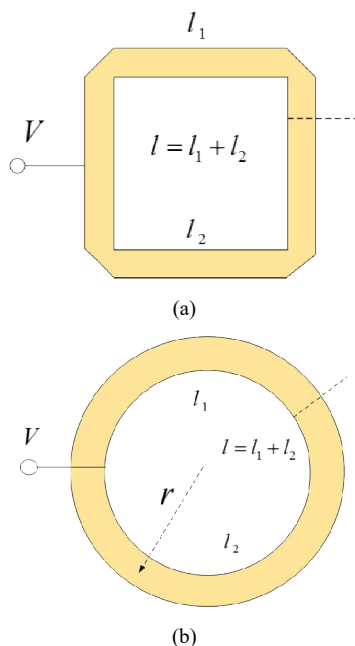
$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (6)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

B. Filter Ring Resonator

Filter adalah komponen yang dapat melewatkan rentang frekuensi yang diinginkan dan meredam rentang frekuensi yang tidak diinginkan. Macam filter berdasarkan fungsi pelolosan frekuensi antara lain pelolos frekuensi rendah (LPF), pololos frekuensi tinggi (HPF), pelolos frekuensi tengah (BPF) dan peredam frekuensi tengah (BSF) [11]. Metode pembuatan filter dapat menggunakan komponen rangkaian listrik seperti inductor ataupun kapasitor maupun menggunakan sifat dari saluran transmisi [10][11].

Proses perancangan filter dengan menggunakan inductor dan kapasitor dilakukan dengan cara mendefinisikan spesifikasi frekuensi yang ingin diloloskan dan diredam, kemudian merancang filter pololos frekuensi rendah yang ternormalisasi. Dari filter pelolos frekuensi rendah yang ternormalisasi, dapat diubah menjadi filter ternormalisasi lainnya seperti pelolos frekuensi tinggi atau pelolos frekuensi tengah. Dari filter ternormalisasi yang diinginkan tersebut, kemudian didenormalisasi untuk mendapatkan nilai komponen inductor dan kapasitor [11]. Untuk perancangan menggunakan prinsip saluran transmisi dapat menggunakan identitas Kuroda dan transformasi Richard [10]. Kedua langkah tersebut memanfaatkan sifat induktif dan kapasitif dari saluran dengan beban yang dihubungkan singkat (*short circuit*) atau dibiarkan terbuka (*open circuit*).



Gambar 2. Struktur Resonator Ring (a) kotak (b) lingkaran [12]

Resonator berbentuk ring memiliki karakteristik respon frekuensi *bandpass*. Jika ring resonator dihubungkan ke input saluran transmisi dan output saluran transmisi, sinyal akan melewati/diloloskan ring resonator dengan redaman tertentu pada frekuensi resonansi *ring* tersebut dan akan ditolak/diredam pada frekuensi di luar frekuensi resonansi. Filter ring resonator juga memiliki respon pita frekuensi lebih sempit jika dibandingkan dengan filter resonator konvensional [4].

Filter dengan metode resonator berbentuk ring, baik kotak ataupun bulat, memiliki bentuk dan rangkaian yang sederhana. Dimensi dari filter ini bernilai sama dengan kelipatan dari jari-jari resonator ring, baik kotak ataupun bulat. Gambar 2 adalah gambar ring resonator dengan panjang dimensi seperti pada persamaan 8 untuk berbentuk kotak dan persamaan 9-10 untuk berbentuk lingkaran [12],

$$l = l_1 + l_2 = nl_g \quad (8)$$

$$l = n\lambda_g = 2\pi r \quad (9)$$

Panjang gelombang untuk resonator ring berbentuk lingkaran dapat dicari dengan persamaan berikut [8],

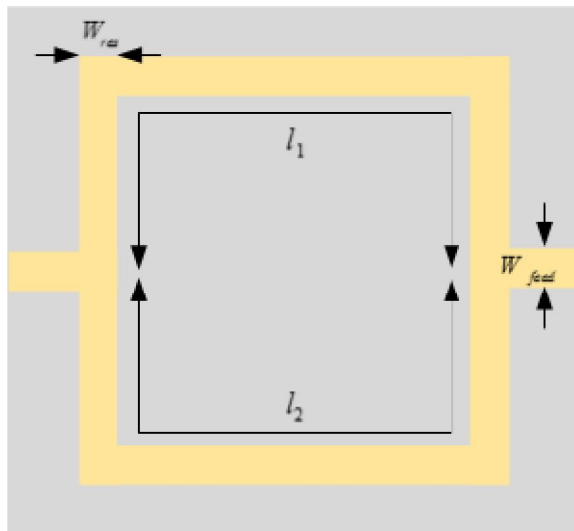
$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_e}} \quad (10)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

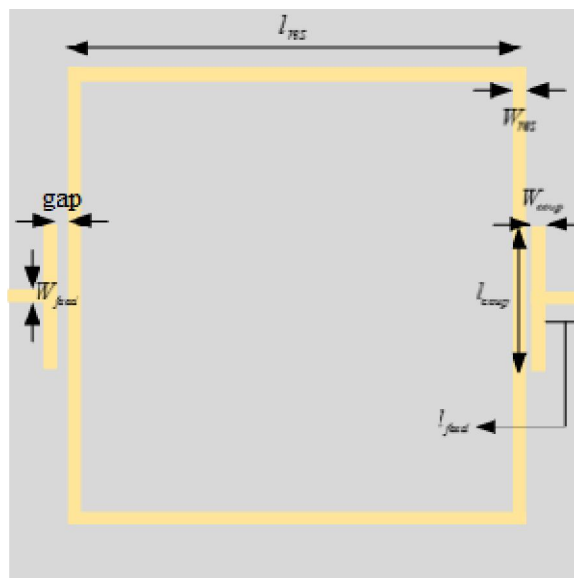
Perancangan pada penelitian ini menggunakan duroid 5880 dengan permitivitas *relative* sebesar 2,2 dan ketebalan substrat sebesar 1,575 mm dan tebal konduktor pada patch dan ground plane sebesar 0,0035 mm [13]. Frekuensi tengah berada pada 1,27 GHz dengan desain awal berupa resonator berbentuk kotak. Dengan mencari dimensi awal berupa lebar patch dan keliling dari resonator, didapatkan dimensi awal W_{res} dan W_{feed} yang bernilai sama sebesar 4,85 mm dengan keliling resonator sebanding dengan panjang gelombang sebesar 236,22 mm. Dari parameter dan dimensi tersebut, didesain model filter seperti pada gambar 3. Pada gambar 3, keliling lingkaran terdiri dari 2 bagian yaitu panjang l_1 dan panjang l_2 yang jika dijumlahkan akan sama dengan keliling dari resonator sebesar panjang gelombang dengan mode 1.

Hasil simulasi dari desain awal dapat dilihat pada gambar 5. Grafik dengan garis tegas berwarna magenta dan hitam adalah hasil dari simulasi perhitungan awal. Magenta untuk parameter S11 dan hitam untuk grafik S21. Pada gambar tersebut desain dari hasil perhitungan belum dapat dikatakan sebagai filter karena pada respon frekuensi dengan melihat parameter S11 dan S21, nilai S21 tertinggi pada rentang frekuensi 0,5 – 2,5 GHz sebesar -14,72 dB. Parameter tersebut berada pada frekuensi 2,46 GHz dengan nilai parameter S11 sebesar -1,49 dB. Dengan kondisi demikian, desain hasil perhitungan belum

dapat meloloskan sinyal dengan frekuensi tengah sebesar 1,27 GHz dan lebar pita sebesar 10 MHz.



Gambar 3. Desain Hasil Perhitungan Awal



Gambar 4. Desain Hasil Optimasi

Tabel 1. Dimensi Filter

Variabel	Keterangan	Ukuran (mm)
l_{res}	Panjang Sisi Resonator	43,8
W_{res}	Lebar Resonator	0,8
l_{coup}	Panjang Catuan Kopling	14,3
W_{coup}	Lebar Catuan Kopling	0,8
gap	Jarak Kopling	0,4
l_{feed}	Panjang Saluran Catu	4,8
W_{feed}	Lebar Saluran Catu	0,4

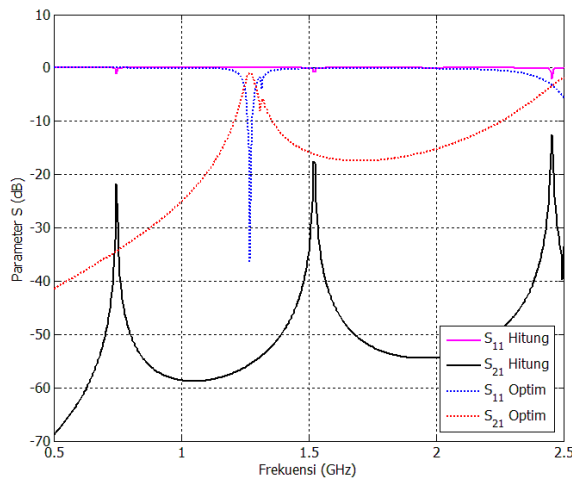
Nilai terdekat pada frekuensi L ada pada respon S21 di frekuensi 0,75 GHz dan 1,53 GHz dengan nilai -23,86 dB dan -20,55 dB dan nilai S11 sebesar -1,12 dB dan -0,50 dB. Selain dari nilai frekuensi yang masih bergeser, nilai parameter S yang ditunjukkan oleh hasil simulasi perhitungan awal juga masih belum memenuhi spesifikasi filter, yaitu nilai return loss atau parameter S11 di bawah -10 dB dan nilai insertion loss atau parameter S21 di atas -3dB.

Dengan hasil awal yang didapat, maka diperlukan optimasi untuk mendapatkan spesifikasi yang sesuai, yaitu frekuensi kerja berada pada 1,27 GHz dan lebarpita sebesar 10 MHz. Terdapat perubahan desain dari simulasi awal berupa penambahan efek kopling dan optimasi dimensi dari resonator. Penambahan coupling line diharapkan bisa meningkatkan efek kopling yang selanjutnya bisa mengurangi besar insertion loss pada passband. Desain hasil optimasi dapat dilihat pada Gambar 4 dengan dimensi filter pada tabel 1. Dimensi total yang didapatkan untuk membuat filter tersebut sebesar 55,8 mm untuk panjang filter dan 57,92 mm untuk lebar filter. Untuk melihat perubahan dari hasil desain perhitungan awal dengan hasil optimasi dapat dilihat pada gambar 5. Dengan memperhatikan respon frekuensi pada rentang yang sama, 0,5 – 2,5 GHz, pada hasil optimasi terdapat respon yang curam dengan garis berwarna biru untuk parameter S11 dan memuncak dengan garis berwarna merah untuk parameter S21.

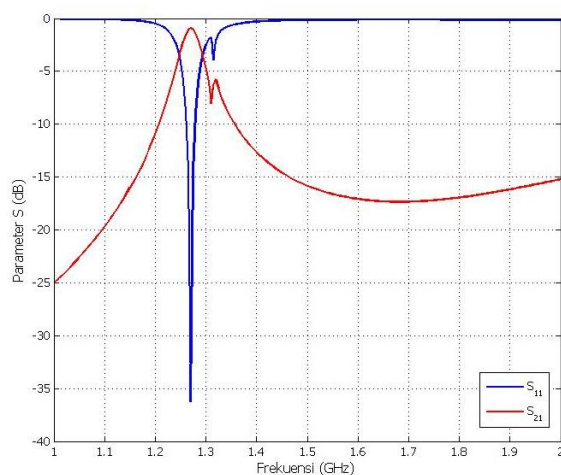
S11 adalah parameter yang menunjukkan nilai perbandingan dari port 1 yang kembali ke port 1. Dari gambar 6 yang merupakan hasil optimasi, didapatkan nilai S11 terendah pada 1,27 GHz yang bernilai -36,25 dB. Nilai ini berarti daya yang kembali pada port 1 akibat pencatutan pada port 1 bernilai minimal, sehingga dominan daya akan keluar pada port tetangga, dalam hal ini port 2. Untuk memastikan daya keluar pada port 2 dan tidak menjadi daya lain dirangkaian, dilakukan dengan melihat parameter S21 yang menyatakan keluaran pada port 2 akibat dari pencatutan pada port 1. Pada frekuensi 1,27 GHz, nilai parameter S21 bernilai -0,92 dB yang artinya, dominan daya keluar ke arah port 2. Sehingga dengan nilai S11 dan S21 tersebut, dapat dikatakan jika filter ini dapat bekerja pada frekuensi 1,27 GHz dengan pantulan daya yang minimum pada port 1 sebagai input dan luaran daya yang maksimum pada port 2 sebagai keluaran.

Untuk melihat lebar pita dari filter yang dirancang, pada frekuensi 1,265 GHz nilai S21 dan S11 sebesar -1,09 dB dan -14,37 dB serta pada frekuensi 1,275 nilai S11 dan S21 sebesar -14,43 dB dan -1,08 dB. Sedangkan jika melihat dari parameter S11 yang dibawah -10 dB maka frekuensi berada pada rentang 1,261 GHz – 1,279 GHz dan parameter S21 di atas -3dB, frekuensi berada pada rentang 1,251 GHz – 1,29 GHz. Rentang frekuensi pada S21 lebih besar dibandingkan rentang frekuensi pada S11, sehingga jika hanya dibatasi pada frekuensi akibat parameter

S₁₁, lebar pita yang didapatkan sebesar 18 MHz dengan S₂₁ yang bersesuaian sebesar -1,46 dB dan -1,43 dB.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Simulasi Perhitungan Awal dengan Hasil Desain Optimasi.



Gambar 6. Hasil Desain Optimasi

Memperhatikan hasil optimasi dari frekuensi yang diharapkan dengan respon parameter S yang bersesuaian dengan spesifikasi, untuk parameter S yang berada di bawah -10 dB, terdapat perbedaan lebar pita sebesar 8 MHz, yaitu lebar pita sebesar 18 MHz. Lebar pita sebesar 18 MHz ini memiliki performa yang lebih rendah dibandingkan lebar pita sebesar 10 MHz pada frekuensi 1,265 GHz – 1,275 GHz karena respon S₁₁ yang didapatkan berada di bawah -10 dB yaitu pada sekitar -14 dB. Selisih Lebar pita sebesar 8 Mhz tersebut dapat diartikan bahwa dengan karakteristik pantulan yang sama filter yang telah didesain meloloskan gelombang 8 Mhz lebih lebar dari filter yang direncanakan sebesar 10 Mhz

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dengan menggunakan teori resonator berbentuk kotak yang keliling resonator berbanding lurus

dengan panjang gelombang belum didapatkan respon frekuensi yang sesuai spesifikasi filter yang diperuntukkan sistem SAR. Namun dengan penambahan kopling pada saluran catu terhadap resonator serta optimasi dimensi filter, didapatkan filter yang bekerja pada frekuensi tengah 1,27 GHz dengan nilai S₁₁ sebesar -36,25 dB dan nilai S₂₁ sebesar -0,92 dB. Untuk lebar pita pada rentang frekuensi 1,265 – 1,275 GHz didapatkan nilai S₁₁ dan S₂₁ secara berurutan sebesar -14,37 dB dan -1,09 dB serta -14,43 dB dan -1,08 dB.

B. Saran

Sebagai lanjutan dari penelitian ini, disarankan dapat memperkecil ukuran desain filter dengan memperbesar nilai permitivitas *relative* bahan namun tetap memperhatikan nilai dari tangensial *loss* bahan agar tetap mendapatkan respon S₂₁ yang tinggi. Miniaturisasi filter bertujuan untuk membuat sistem yang *compact* jika diimplementasikan pada sistem SAR secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. T. S. Sumantyo, "Development Of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Unmanned Aerial Vehicle (CP-SAR UAV)," in *IGARSS*, 2012, pp. 4762–4765.
- [2] J. Tetuko Sri Sumantyo, "Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR) Onboard Small Satellite," in *IGARSS*, 2011, pp. 929–932.
- [3] M. Schultz, "Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB," California Polytechnic State University, 2009.
- [4] C. C. Yu and K. Chang, "Novel compact elliptic-function narrow-band bandpass filters using microstrip open-loop resonators with coupled and crossing lines," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 46, no. 7, pp. 952–958, 1998.
- [5] ORARI, "Keputusan Ketua Umum Organisasi Amatir Radio Indonesia Nomor KEP-065/OP/KU/2009 tentang Pembagian dan Penggunaan Segmen Band Frekuensi Amatir Radio (Bandplan)," pp. 1–9, 2009.
- [6] D. W. Astuti, Juwanto, and M. Alaydrus, "A Bandpass Filter Based on Square Open Loop Resonator at 2.45 GHz," in *3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*, 2013, pp. 147–151.
- [7] M. Dousti, P. Taheri, S. Sadi, and M. Zamani, "A Novel Miniaturized Narrow Band Bandpass Filter Utilizing Microstrip Open-loop Ring Resonators for Narrow-band Applications," in *Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, 2012, pp. 1415–1419.
- [8] S. Arain, M. A. B. Abassi, S. Nikolaou, and P. Vryonides, "A square ring resonator bandpass filter with asymmetrically loaded open circuited stubs," in *2016 5th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies, MOCASST 2016*, 2016.
- [9] M. P. Manggala, H. Wijanto, and B. Syihabuddin, "A study of square loop resonator filter at 2350 MHz for nanosatellite application," in *Proceeding of 2015 1st*

- International Conference on Wireless and Telematics, ICWT 2015*, 2016.
- [10] M. D. Pozar, *Microwave Engineering 4th Edition*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [11] C. Bowick, J. Blyler, and C. Ajluni, "RF Circuit Design," *RF Circuit Des.*, 2008.
- [12] K. Chang and L. H. Hsieh, *Microwave Ring Circuits and Related Structures*, 2nd Editio. John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2004.
- [13] R. Corporation, "RT/duroid ® 5870 /5880 Datasheet," pp. 100–101, 2016.